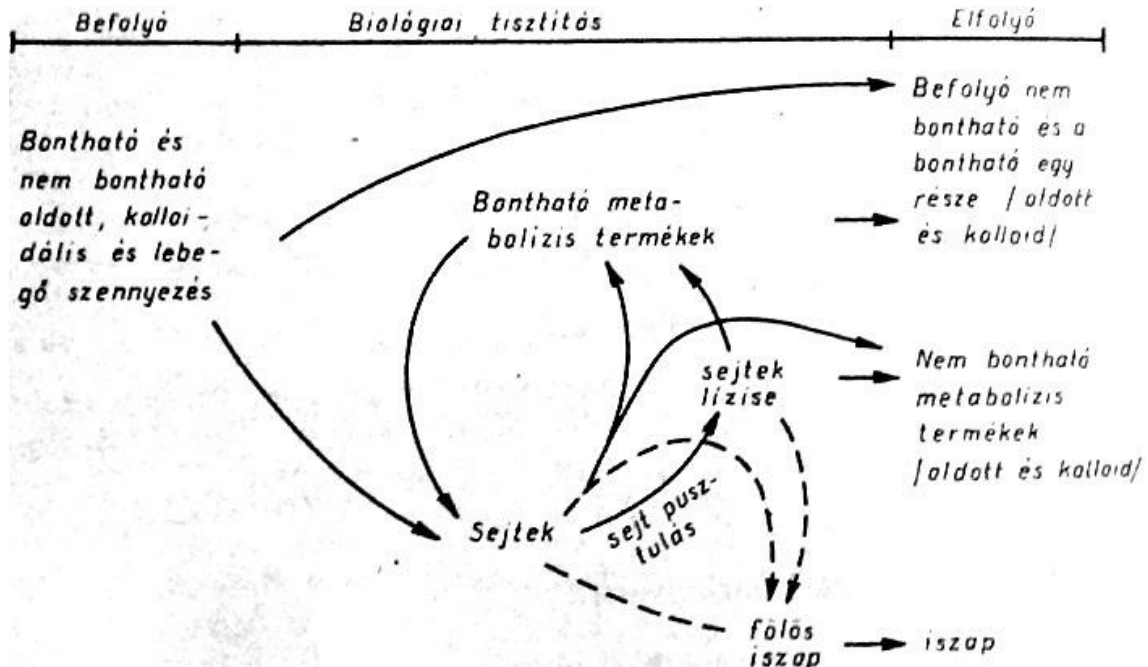


# Iszap tartózkodási idő szerepe az aerob biológiai szennyvíztisztításban (számítógépes szimulációs gyakorlat)

## I. Elméleti összefoglaló

A szennyvíztisztításban a biológiai módszerek a leggyakrabban alkalmazott eljárások. Alkalmasak minden olyan szennyezőanyag eltávolítására, amely adott mikroorganizmusok által felhasználható szubsztrátként. Ezek legfőképp szerves vegyületek, de átalakítható az élővizek oxigén-háztartására veszélyt jelentő ammónia, illetve ammónium-ion is kevésbé veszélyes nitráttá (nitrifikálás). A nitrát, mely az eutrofizációs folyamatban játszik szerepet, denitrifikáló mikroorganizmusok által konvertálható nitrogén gázzá.

A szerves anyagok lebontása megvalósítható aerob, illetve anaerob körülmények között is; de az aerob oxidáció sebessége lényegesen nagyobb, így az anaerob rothasztást leginkább nagy szervesanyag-tartalmú iszapok kezelésére használják. Az **aerob biológiai szennyvíztisztítás** alapfolyamatait a következő ábra összesíti:



1. ábra: Biológiai szennyvíztisztítás során lejátszódó folyamatok sémája

A vízben lévő biodegradálható szennyezőanyag tartalom részben a mikroorganizmusok asszimilációja útján sejtanyagga, másrészt disszimiláció során kisebb energiataralmú vegyületekké, végső soron pedig CO<sub>2</sub>-dá és vízzé alakul át. Az eltávolítás

sebessége, hatékonysága függ az aktív szervezetek mennyiségétől, a metabolizmus sebességétől, illetve a víz hidraulikus tartózkodási idejétől.

Az utóbbi évtizedekben nagyrészt az **eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás** terjedt el a kommunális telepeken. Ezen tisztítási műveletek jellemzője, hogy a mikroorganizmusok pelyhes szerkezetbe tömörülnek (eleveniszap), és a szennyvízben egyenletesen eloszolva helyezkednek el. A reaktor általában egy téglalap alaprajzú vasbeton műtárgy, 3-5 m mélységgel. A lebontáshoz aerob körülmények szükségesek, amelyet mesterséges oxigénbevitellel, azaz **levegőztetéssel** lehet megteremteni. A levegőztető berendezések biztosítják a víztér intenzív keveredését is, mely fontos az egyenletes oxigén, eleveniszap, és tápanyag koncentráció elérése szempontjából; illetve megakadályozza az iszap leülepedését.

Az eleveniszapos medencékben lecsökken a víz szennyezőanyag-tartalma, a mikrobák mennyisége pedig megnő. A rendszer iszapszaporulata állandó, és a képződő fölös mennyiséget el kell távolítani, mely feladatot az **utóülepítő** látja el. A leülepített, nagyrészt élő mikroorganizmusokat tartalmazó eleveniszap egy részét visszavezetik a levegőztető műtárgyba (**iszaprecirkuláció**). Az ülepített iszap másik hányadát, a **fölősiszapot** elveszik, és továbbjuttatják az iszapkezelési folyamatba.

A szennyvíz bioreaktorban töltött ideje a **hidraulikus tartózkodási idő** (hydraulic residence time):

$$\text{HRT} = \frac{V_r}{Q}$$

ahol  $V_r$ : reaktor hasznos térfogata [ $\text{m}^3$ ]

$Q$ : befolyó szennyvíz térfogatárama [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]

A medencében lévő iszap tartózkodási idejét pedig az **iszapkor** (sludge residence time) értéke fejezi ki. Ha a reaktort iszaprecirkuláció nélkül működtetnénk, megegyezne a HRT-vel.

$$\text{SRT} = \frac{\text{Rendszerben levő iszap}}{\text{Rendszerből távozó iszapáram}} = \frac{V_r \cdot x}{Q_f \cdot x_f + Q_e \cdot x_e}$$

ahol  $x$ : biomassa koncentráció a reaktorban [ $\text{g VSS}/\text{m}^3$ ]

$Q_f$ : fölösiszap elvétel térfogatárama [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]

$x_f$ : biomassa koncentráció az ülepített iszapban [ $\text{g VSS}/\text{m}^3$ ]

$Q_e$ : elfolyó szennyvíz térfogatárama [ $\text{m}^3/\text{d}$ ]

$x_e$ : elfolyó biomassa koncentráció [ $\text{g VSS}/\text{m}^3$ ]

A rendszert elhagyó iszap mennyiségét az elvett fölösiszap áram határozza meg. Jól működő ülepitő esetén a tisztított szennyvízzel elfolyó biomassza elhanyagolható ( $x_e = 0$ ). Az iszap tartózkodási idő kifejezhető másképp is, a már említettek alapján; ugyanannyit szükséges elvenni, mint amennyi fölös mennyiségben képződik:

$$\text{SRT} = \frac{\text{Rendszerben levő iszap}}{\text{Iszapelvétele} (= \text{keletkező iszap})} = \frac{V_r \cdot x}{V_r \cdot x \cdot \mu} = \frac{1}{\mu}$$

ahol  $\mu$ : biomassza szaporodási sebessége [1/d]

Tehát az iszapkor lényegében a **szaporodási sebesség reciproka**. Mivel a kettő fordítottan arányos egymással, logikus, hogy kisebb  $\mu$  értékekhez nagyobb SRT tartozik. Ezért lassan szaporodó mikroorganizmusok, pl. nitrifikálók (lásd alább) felszaporítása érdekében az iszapnak hosszabb ideig kell tartózkodnia a rendszerben, hogy a tisztítás megfelelő mértékben valósuljon meg.

A iszapkor értelem szerűen a reaktor méretével, és a szennyvízben lévő iszapkoncentrációval növelhető. (Az utóbbinak az szab felső határt, hogy ülepitéssel kb.  $\text{SS} = 5 \text{ g szárazanyag/l}$  koncentráció felett már nem tudjuk az iszapot hatékonyan elválasztani a víztől.) Nagyobb értékű az SRT akkor is, ha kevesebb iszap kerül elvételre. A paraméter alapján három terhelés szerinti csoportra oszthatók az eleveniszapos technológiák:

- Az SRT értéke 1-2 nap: **biológiai részisztítást** biztosító, nagyterhelésű rendszerek
- Az SRT értéke 2-10 nap: **teljes biológiai tisztítást** nyújtó eljárások
- Az SRT értéke >10 nap: **teljes oxidációs tisztítást** szolgáltató műtárgyak

A szennyvíztisztító medencék terhelésének jellemzésére másik két reaktortechnikai kifejezés is elterjedt. Egyik a **fajlagos térfogati szervesanyag-terhelés**.

$$B_v = \frac{Q \cdot S_0}{V_r} \quad \left[ \frac{\text{kg BOI}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}} \right]$$

ahol  $S_0$ : befolyó szervesanyag-tartalom [kg BOI/m<sup>3</sup>]

Ugyanennek kinetikai megfogalmazása:

$$B_v = \frac{\mu_{\max} \cdot S \cdot x}{(K + S) \cdot Y}$$

ahol  $\mu_{\max}$ : maximális szaporodási sebesség [1/d]

S: reaktorbéli szervesanyag-tartalom [kg BOI/m<sup>3</sup>]

K: féltelítési állandó [kg BOI/m<sup>3</sup>]

Y: biomassza hozam [kg VSS/kg BOI]

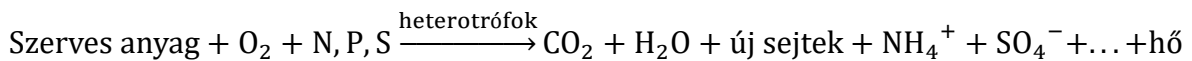
A másik reaktortechnikai fogalom a **fajlagos iszapterhelés**:

$$B_x = \frac{Q \cdot S_0}{V_r \cdot x} \quad \left[ \frac{\text{kg BOI}}{\text{kg VSS} \cdot \text{d}} \right]$$

Az alkalmazható maximális iszapterhelést a reaktor fajtája, illetve a szennyvíz típusa határozza meg.

Az **aerob** reaktorokban kétféle lebontás zajlik le mikrobák által:

1) **Szervesanyag-lebontás:**

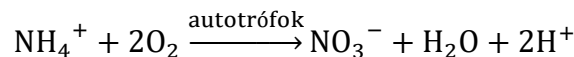


Szennyvíztisztításban a heterotróf mikroorganizmusok a szerves szénvegyületeket bontják le, teljes oxidáció esetén CO<sub>2</sub> és H<sub>2</sub>O-ig. Szükségük van egyéb tápanyagokra is (N, P, S). A lebontás metabolikus hő felszabadulásával jár, de mivel az aerob rendszert nem tesszük zárttá, így ezt a hőt nem tudjuk hasznosítani, elvezetni. Ráadásul jelentős energiafogyasztással jár a levegőztetés. A lebontás hatásfoka az alábbi egyenlettel írható le:

$$\eta_{\text{BOI}} = \frac{S_0 - S_e}{S_0}$$

ahol  $S_e$ : elfolyó szervesanyag koncentráció (kg BOI/m<sup>3</sup>)

2) **Nitrifikáció:**



Az nitrifikáló mikrobák autotrófok, nem igényelnek szerves szénforrást. A *Nitrosomonas* nevű organizmus NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-ból állít elő NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-t, majd abból a *Nitrobacter* NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-t. A folyamatot itt a bruttó egyenlettel fejeztük ki. Hatásfoka a szervesanyag-eltávolításéhoz hasonlóképp értelmezhető:

$$\eta_{\text{nitrifikáció}} = \frac{(\text{NH}_4\text{-N})_0 - (\text{NH}_4\text{-N})_e}{(\text{NH}_4\text{-N})_0}$$

ahol  $(\text{NH}_4\text{-N})_0$ : befolyó NH<sub>4</sub>-N koncentráció

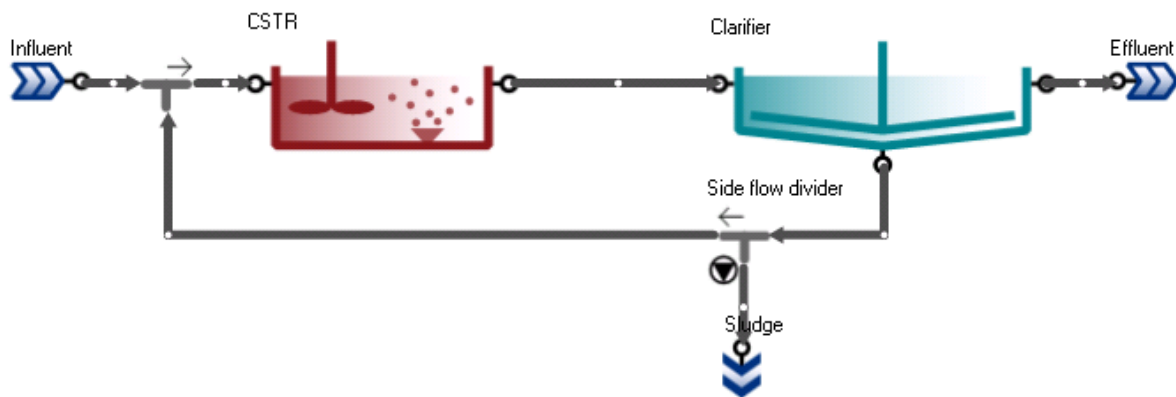
$(\text{NH}_4\text{-N})_e$ : elfolyó NH<sub>4</sub>-N koncentráció

## II. A gyakorlat leírása

A **gyakorlat célja**, hogy egy aerob eleveniszapos biológiai tisztítóberendezés számítógépes modelljén vizsgáljuk; hogy az iszapelvétellel miképp szabályozható az iszap tartózkodási idő, illetve az hogyan befolyásolja a tisztítás hatásfokát.

A gyakorlaton a „SUMO” szimulációs szoftver használatához szükséges segítséget az oktató megadja, így itt ennek részletezésétől eltekintünk.

A szimulációs program megnyitása után, a következő minta alapján állítunk össze egy egyfokozatú eleveniszapos rendszert a kezdőfelületen.



2. ábra: Az aerob biológiai szennyvíztisztító modell folyamatábrája

A rendszerünk technológiai egységei az aerob bioreaktor (CSTR), illetve az utóülepítő (clarifier), melyből a kiülepedett iszap (sludge) egy részét visszajuttatjuk a levegőztetőbe, a többit pedig eltávolítjuk fölösiszapként. A befolyó szennyvíz (influent) biológiai tisztítás és ülepítés után távozik az elfolyó (effluent) egységben.

**A modell összerakása után a fő beállítási lépések:**

### Configure

Influent: Concentration based

CSTR: DO: input, Aeration Diffused, Reactive, Mainstream

Clarifier: Volumeless point separator, fixed effluent solids, Sludge flow

Effluent: Plant effluent

Sludge: Sludge output

### Model setup

Az ASM1 nemzetközi tudományos együttműködéssel kidolgozott és széles körben publikált matematikai modellt állítjuk be, melyet elterjedten alkalmaznak a legalapvetőbb tisztítási műveletek szemléltetésére.

Mindegyik elemet Ctrl mellett kijelölni, majd:

Model selection/Museum, focus and custom/ASM1

## INPUT SETUP /CONSTANTS

Állítsuk be a befolyó alap szennyvíz összetételét, az alábbiak szerint:

Name	Default	Value	Unit
Influent flow rate	24000.0	24000.0	m <sup>3</sup> /d
Influent COD	420.0	<b>840.0</b>	g COD/m <sup>3</sup>
Influent filtered COD	150.0	<b>300.0</b>	g COD/m <sup>3</sup>
Influent flocculated and filtered COD	80.0	<b>160.0</b>	g COD/m <sup>3</sup>
Influent TKN	34.4	<b>70.0</b>	g N/m <sup>3</sup>
Ammonia (NH <sub>4</sub> + NH <sub>3</sub> )	23.0	<b>50.0</b>	g N/m <sup>3</sup>
Alkalinity (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	350.000000	<b>500.000000</b>	g CaCO <sub>3</sub> .m <sup>-3</sup>

Állítsuk be a **szennyvíz hőmérsékletét is** ugyanitt (bal alsó mezőben ezt kiválasztva): **12 °C**

A többi beállítást hagyhatjuk a „default” értéken, de az egyes műveleti egységekre kattintva nézzük meg, és értelmezzük az ott látottakat.

## OUTPUT SETUP

Az „Output setup” menüben hozzunk létre három táblázatot az „Add table” gombbal, majd a bal alsó sarokban levő menüből egyszerűen áthúzva a táblázatba, válasszuk ki a hozzájuk tartozó alábbi paramétereket: (A számértékek az alábbi táblázatokban **nem** iránymutatók.)

1. táblázat – Befolyó, elfolyó BOI és TKN ill. NH<sub>4</sub>-N

Name	Influent	Effluent	Unit
Total BOD5	222	5.5	g COD/m <sup>3</sup>
Total Kjeldahl nitrogen	70.00	3.97	g N/m <sup>3</sup>
Ammonia		3.00	g N/m <sup>3</sup>

2. táblázat – Bioreaktorban lévő heterotrófok, autotrófok koncentrációja

Name	CSTR	Unit
Ordinary heterotrophic organisms concentration	500.0	g COD/m <sup>3</sup>
Autotrophic nitrifying organisms (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> to NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) concentration	50.0	g COD/m <sup>3</sup>

3. táblázat – Bioreaktorban lévő, főlösszapban lévő sejt szárazanyag

Name	CSTR	Sludge	Unit
MLSS	9028	17933	g/m <sup>3</sup>
VSS	7690	15276	g/m <sup>3</sup>

Készítsünk hasonlóképpen 3 Timechart ábrát is, ugyanezekkel az adatokkal.

A részfeladatok során ezen értékeket fogjuk megfigyelni, illetve a rendszer terhelésére vonatkozó számításokhoz felhasználni. **A modellfájlt ezen a ponton mindenképpen**

**mentsük el**, hogy esetleges problémák fellépésénél a rendszeren újra lehessen kezdeni egy szimulációt és ne kelljen még egyszer megszerkeszteni a modellt.

A modellt ezt követően a SIMULATE menüben futtathatjuk. A bal felső ablakban állítsunk be 50 napos futási időt és válasszuk a Dynamic/Cold start parancsot. Sikeres futtatás esetén a Timechart-ok jól mutatják a steady state állapot beállítását. A táblázatokban a futás közben az aktuális értékek, az 50 nap lefutását követően – ennek megfelelően – a végső, beállt értékek olvashatók le. Ezek segítségével készítsen (excel) táblázatot, mely soronként minden egyes futtatásra az alábbi adatokat tartalmazza:

**Állandó ill. a szimuláció eredményeként nyert adatok:**

Befolyó szennyvízhozam (m<sup>3</sup>/d), Reaktortérfogat (m<sup>3</sup>), Be és elfolyó BOI (g/m<sup>3</sup>), Be és elfolyó TKN (gN/m<sup>3</sup>), Heterotróf mikroba koncentráció (gKOI/m<sup>3</sup>), autotróf mikroba koncentráció (gKOI/m<sup>3</sup>), reaktorbeli és recirkuláltatott iszap koncentráció (gVSS/m<sup>3</sup>), elvett iszapáram (m<sup>3</sup>/d)

**Számított adatok (a fenti leírás alapján az előző adatokból)**

BOI és TKN eltávolítási hatásfok(%),  $B_v$  (kgBOI/m<sup>3</sup>.d),  $B_x$ (kgBOI/kgVSS.d), SRT (d), Befolyó TKN terhelés (kgTKN/d), Eltávolított TKN (kgTKN/d), Elvett fölösiszap (kgVSS/nap). A fölösiszappal elvett N mennyisége (kgN/d). Nitrifikálók által eltávolított TKN (kgN/d).

Az SRT számításánál az elfolyó tisztított vízben feltételezzük, hogy  $X=0$ .

A fölösiszappal elvett N számításánál a fölösiszap N tartalmát a VSS tartalom 10%-ának vehetjük.

*A táblázatot úgy célszerű rendezni, hogy a fenti paraméterek szerinti oszlopokba egy futtatás eredményeit egy sorba rögzítjük. Ez megkönnyíti később a megfelelő ábrák elkészítését.*

**Végezzük el az alábbi futtatásokat és az eredményüket rögzítsük a táblázatban:**

**Alapeset:** Az elvett iszapáram változtatásával (Input setup, Side flow divider-re kattintva) érjük el, hogy a reaktorbeli iszapkoncentráció (MLSS) 4000-4500 g/m<sup>3</sup> közé essen, mivel az ezt meghaladó koncentráció esetén az ülepítővel történő elválasztás a gyakorlatban nem működik (De a választott, idealizált ülepítő típus miatt a program az irreális iszapkoncentrációval is számol.) A beállítás után jegyezzük fel az adatokat. **Ez az alábbi 3 változtatási sor mindegyikének a „0. pontja”.**

**A/ Elvett fölösizap mennyiség növelése**

1. Növeljük az iszapelvételt úgy, hogy az elfolyó TKN még  $< 5 \text{ g/m}^3$  maradjon.
2. Emeljük az iszapelvételt a 1. pontban megadott kétszeresére
3. Emeljük az iszapelvételt a 1. pontban megadott négyszeresére

**B/ Szennyvíz TKN koncentráció növelése**

1. Növeljük a befolyó TKN koncentrációt alapeset  $+ 40 \text{ g/m}^3$ -re
2. Növeljük a befolyó TKN koncentrációt alapeset  $+ 100 \text{ g/m}^3$ -re
3. Növeljük a befolyó TKN koncentrációt alapeset  $+ 200 \text{ g/m}^3$ -re

**C/ Szennyvíz koncentráció növelése**

1. Növeljük a befolyó szennyvíz koncentrációit az **alap kétszeresére** és igazítsuk az iszapelvételt, hogy a reaktorbeli iszapkoncentráció (MLSS) továbbra is  $4000\text{-}4500 \text{ g/m}^3$  közé essen
2. Növeljük a befolyó szennyvíz koncentrációit az **alap négyszeresére** és igazítsuk az iszapelvételt, hogy a reaktorbeli iszapkoncentráció (MLSS) továbbra is  $4000\text{-}4500 \text{ g/m}^3$  közé essen

**III. A vizsgálat eredményeinek kiértékelése**

Készítse el az alábbi diagramokat:

SRT és autotróf mikrobák (két külön léptékű tengelyen) a  $B_x$  függvényében

Elvett fölösizap ( $\text{kgVSS/nap}$ ) a  $B_x$  függvényében

A TKN eltávolítási hatásfok és a nitrifikációval eltávolított N ( $\text{kgN/nap}$ ) (két külön léptékű tengelyen) az SRT függvényében

a Nitrifikációval eltávolított N ( $\text{kgN/nap}$ ) az autotróf szervezetek koncentrációjának a függvényében

**Megválaszolendő kérdések:**

A diagramok és az adatok elemzése alapján válaszolja meg az alábbi kérdéseket:

Min múlik elsősorban, hogy van-e elégséges nitrifikáció (TKN eltávolítás)? Milyen üzemirányítási paraméterrel lehet ezt befolyásolni?



Miként lehetséges az, hogy extrém magas szervesanyag terhelésnél szinte nincs is szükség nitrifikációra?